

Источники питания виртуального измерительного комплекса для исследования малосигнальных усилителей сверхвысоких частот

П. А. Алай, А. Д. Тупицын

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. In the modern world, data transfer channels in the ultrahigh frequency range are used in almost all areas of activity. Various amplifiers are part of any communication channel. The final stage of development of any amplifier is an experimental study. For such studies, expensive measurement systems containing circuit analyzers, power supplies, etc. are used. In some cases, they can be replaced with virtual measurement systems containing network analyzers, power supplies which determine the operating modes of amplifiers. This paper describe a virtual measurement system for of ultra-high-frequency small-signal amplifiers research using imitation methods. Measurement system includes an analyzer of microwave circuits and power sources that determine DC operation point of the amplifier.

Ключевые слова: *imitation modelling; virtual measurement system; operation point; UHF-amplifier*

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные телекоммуникационные устройства имеют не только специальное применение, но и используются в повседневной жизни. Начиная с «традиционных» систем связи, сотовых сетей и систем передачи данных, телефонии, радио- и телевидения и заканчивая промышленными системами, системами специального назначения, системами передачи данных на транспорте, в медицине, в науке и т. п. Телекоммуникационные системы проникли в быт человека, начиная с возможности дистанционного управления бытовыми приборами и заканчивая «интернетом вещей». Будучи встроенными в различные приборы и устройства и даже в бытовую технику, они обеспечивают возможность дистанционного управления и передачи данных по различным каналам связи. Прежде всего – радиоканалам.

Важнейшими частями телекоммуникационных устройств являются приёмопередатчики. Изучение физических основ их работы и влияния различных факторов на их технические характеристики является важнейшей задачей, решение которой позволяет максимизировать параметры при проектировании. Для этого используются различные методы и средства моделирования и экспериментального исследования. В том числе – различные измерительные комплексы.

Измерительные комплексы для исследования телекоммуникационных устройств и их элементов являются сложными в обслуживании и дорогостоящими. Поэтому в

тех случаях, в которых это возможно предлагается заменить их виртуальными измерительными комплексами, которые позволяют производить измерения по заданным физическим параметра объекта исследования. Особенно такой подход может быть удобен в образовательном процессе, когда использование дорогостоящих измерительных приборов и чувствительных к внешним воздействиям объектов исследования затруднено. Виртуальные измерительные комплексы также расширяют возможности дистанционного образования, так как они, как и любое программное средство, могут легко распространяться, но не требуют приобретения дорогостоящей лицензии.

II. МЕТОДЫ

В [1] описан подобный измерительный комплекс, реализованного в среде LabVIEW, позволяющий производить исследования одного из обязательных элементов современного приемопередатчика – усилителя сверхвысоких частот на основе микрополосковых линий в режиме малого сигнала методами имитационного моделирования.

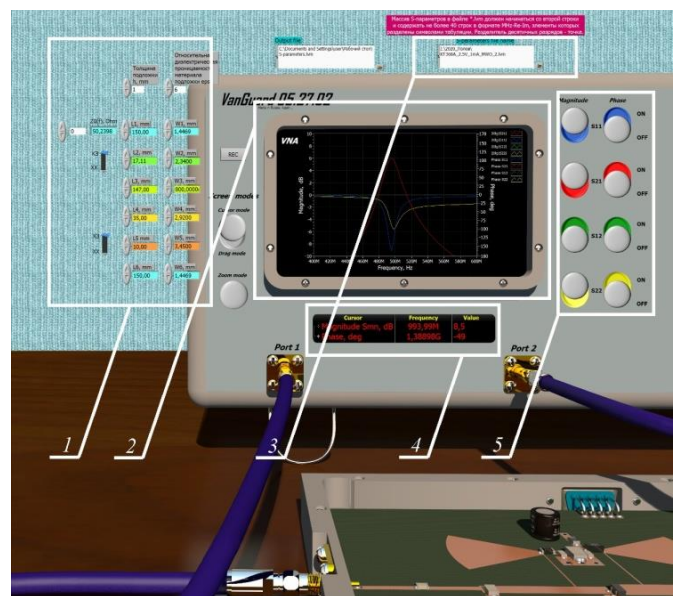


Рис. 1. Внешний вид виртуального измерительного комплекса

В состав виртуального измерительного комплекса входит векторный анализатор микроволновых цепей, 3D визуализация которого представлена на рис. 1, и виртуализированный объект исследования (усилитель), изображенный на рис. 2.

Визуализированный анализатор цепей содержит органы управления 1, с помощью которых задаются геометрические размеры микрополосковых линий усилителя и параметры подложки, на которой они сформированы.

Окно виртуального прибора LabVIEW «Path» 3 позволяет задать тип активного элемента усилителя и выбрать файл S -параметров транзистора и, соответственно, режим его работы по постоянному току – рабочую точку. Справа от экрана 2 виртуального анализатора микроволновых цепей располагаются органы управления 5, позволяющие выбирать режимы отображения графических зависимостей, характеризующих объект исследования – усилитель. Это зависимости модулей и фаз четырех S -параметров усилителя. Под экраном анализатора расположено окно индикации курсоров 4, с помощью которых производятся измерения положения курсоров на экране. Курсоры перемещаются по экрану «перетаскиванием» с помощью манипулятора «мышь».



Рис. 2. 3D вид исследуемого усилителя

Для виртуализации усилителя используется метод декомпозиции [2], с помощью которого усилитель разбивается на цепь последовательно включенных четырехполюсников, которые описывают совокупность соединений между собой микрополосковых линий на входе, транзистора и совокупность микрополосковых линий на выходе. Параметры четырехполюсников определяются матрицами рассеяния S , матрицами A и T в зависимости от соединения линий передач на входе и выходе усилителя. Элементы матриц пассивных четырехполюсников вычисляются с использованием геометрических размеров линий передач, которые задаются органами управления виртуального комплекса 1 (рис.1). После определения матриц S , A или T , что можно сделать с помощью соотношений, приведённых, например, в [3], [4], матрицы приводятся к одному виду (в данном случае к виду матрицы T), пере-

множаются и преобразовываются в матрицу рассеяния S для всего усилителя. Активный элемент усилителя задается системами частотно зависимых S -параметров, каждая из которых зависит от электрических параметров режима работы по постоянному току – от рабочей точки.

В исходной версии виртуального измерительного комплекса выбор рабочей точки активного элемента определяется набором S -параметров, выбираемых оператором вручную. Для этого задается путь к файлу S -параметров с помощью виртуального прибора LabVIEW «Path» 2 (рис. 1). Такой способ изменения рабочей точки усилителя неудобен и требует большого времени, а также не позволяет проводить исследование работы усилителя в рабочих точках, для которых нет наборов S -параметров.

Целью данной работы является создание виртуальных источников питания объектов исследования виртуального измерительного комплекса, имитирующих изменение рабочей точки активного элемента путем плавной регулировки соответствующих напряжений и токов питания усилителя. Для этого реализуются алгоритмы интерполяции [5] элементов файлов S -параметров, что позволяет получать дополнительные наборы S -параметров для различных питающих активный элемент напряжений и токов в рабочей точке.

Кроме того, осуществляется 3D-визуализация источников питания с целью использования их в составе виртуального комплекса. При этом изменение напряжения и тока питания производится с использованием традиционных органов управления источников питания, имеющихся на их лицевых панелях – с помощью клавишного набора значений напряжений и токов или вращением соответствующих ручек с помощью манипулятора «мышь».

Дополнительные наборы S -параметров генерируются с помощью виртуальных приборов LabVIEW, позволяющих выбирать методы интерполяции значений и задавать количество вновь создаваемых массивов S -параметров для интересующих значений токов и напряжений. Количество массивов, напряжения и токи задаются изменением положений органов управления (клавиш, ручек) виртуальных источников питания измерительного комплекса. Фактором, ограничивающим вновь создаваемые массивы, является исходный набор S -параметров. Не создаются массивы для токов и напряжений питания, которые либо меньше минимальных значений токов и напряжений в имеющихся в исходных массивах S -параметров, либо больше максимальных значений. То есть экстраполяция не производится.

Внешний вид виртуального источника представлен на рис. 3. На лицевой панели прибора располагаются цифровые индикаторы выходных токов 1 и напряжений 2. В нижней части панели расположены присоединительные клеммы 3 и выключатель 4. Справа от индикаторов расположена ручка регулировки напряжения 5 и тока 6.

3D визуализация виртуального источника питания располагается на экране компьютерного монитора рядом с виртуальным анализатором микроволновых цепей

В состав виртуального измерительного комплекса входят два источника. Один из них работает в режиме стабилизации напряжения для фиксации потенциала коллектора биполярного транзистора усилителя (потенциала стока полевого транзистора). Другой работает в режиме стабилизации тока коллектора (стока). В реальных усилителях обычно задаются либо ток базы биполярного транзистора, либо потенциал затвора полевого. В данном случае индикаторы выходного тока виртуального источника тока базы (напряжения затвора) соответствующего источника не отражает их значения – фактически этот источник определяет выбор значения коллекторного (стокового) тока. При этом значение установленного тока коллектора (стока) отображается индикатором источника питания коллекторной (стоковой цепи.)

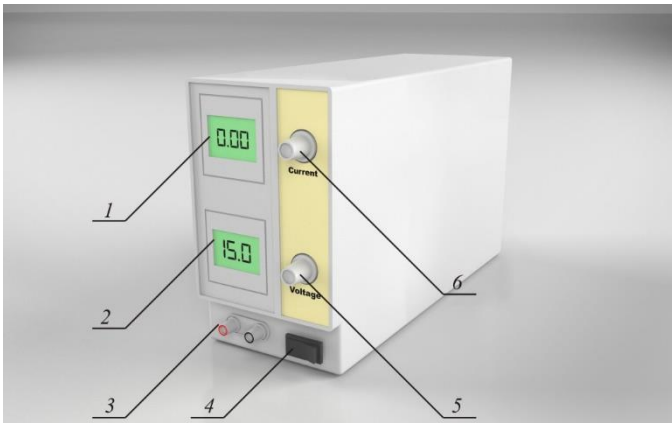


Рис. 3. Внешний вид виртуального источника питания

Для работы виртуального источника имеющиеся для выбранного активного элемента наборы файлов S -параметров размещаются в отдельных папках (для каждого напряжения питания коллекторной или стоковой цепей), обращение к которым осуществляется в процессе функционирования виртуального стенда. В данной версии виртуальных источников файлы должны содержать S -параметры в формате Re-Im, а сами массивы данных начинаться в тексте со второй строки. Первые строки в файлах – строки комментариев – содержат считываемую информацию о токах и напряжениях, для которых получены данные значения S -параметров.

Считываемые массивы одноимённых S -параметров интерполируются по токам коллектора (стока), для которых они измерены, после чего выбираются значения S -параметров, соответствующие заданным органами управления источника току и напряжению в рабочей точке. Формируется новый массив четырёх частотно-зависимых S -параметров, который и используется в имитационном моделировании усилителя виртуальным измерительным комплексом для установленной рабочей точки.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 4 представлены результаты исследования узкополосного усилителя с центральной частотой 500 МГц на основе транзистора КТ368 для трёх значений токов кол-

лектора, установленных с помощью виртуального источника. Напряжение питания коллекторной цепи составило 2,5 В. Здесь зависимости S_{11} для токов 1 мА и 5 мА получены с использованием имеющихся файлов S -параметров, кривая для тока 2,5 мА построена на основе набора S -параметров, полученного в результате работы программных модулей интерполяции.

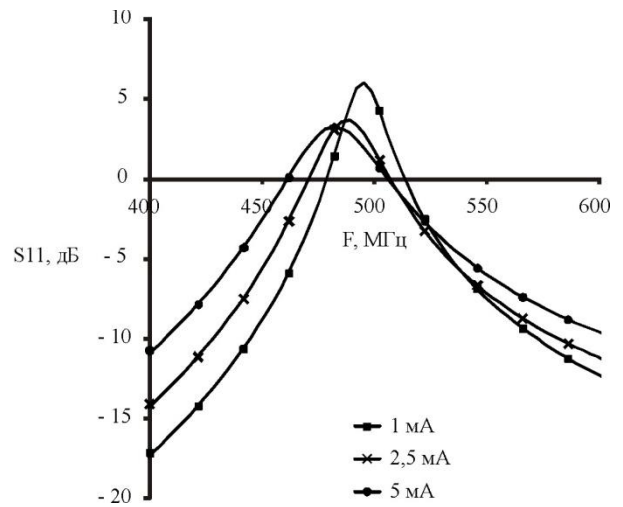


Рис. 4. Зависимости S_{11} усилителя от токов коллектора

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время производится отладка программных модулей виртуальных источников питания с целью полной интеграции в состав виртуального измерительного комплекса, в том числе – в состав графического интерфейса комплекса.

Развитием разработанных виртуальных источников питания должна стать автоматизация подготовки исходных данных. В данный момент файлы S -параметров должны быть отформатированы определённым образом для использования. Предполагается создание программных модулей, которые позволят использовать файлы S -параметров независимо от того, как представлены в них S -параметры – в виде Re-Im, Magnitude-Angle, Log Magnitude-Angle.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Тупицын А.Д. Виртуальный измерительный комплекс для исследования транзисторных усилителей сверхвысокой частоты // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 6. С. 14–24.
- [2] Никольский В.В., Никольская Т.А. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М.: Наука, 1983. 304 с.
- [3] Edwards T.C., Steer M.B. Foundations of Interconnect and Microstrip Design. 3rd ed. John Wiley & Sons, 2000, 512 p.
- [4] David Pozar. Microwave Engineering. 4th ed. John Wiley & Sons, 2011, 752 p.
- [5] Половко А.М., Бугусов П.Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. СПб.: БХВ-Петербург. 2004. 320 с.